昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, July 2008, 51(7): 720 – 727 ISSN 0454-6296

草地螟 2007 年越冬代成虫迁飞行为研究与虫源分析

张云慧[1],陈　林[1],程登发[1,*],姜玉英[2],吕　英[3]

(1. 中国农业科学院植物保护研究所,植物病虫害生物学国家重点实验室,北京　100193;
2. 全国农业技术推广服务中心,北京　100026;3. 内蒙古乌兰察布市植保植检站,内蒙古集宁　012000)

摘要:草地螟 *Loxostege sticticalis* L.是危害我国北方农牧业的一种重要迁飞性害虫,明确草地螟的虫源地及迁飞路线对其早期预警具有重要意义。本文利用垂直监测昆虫雷达的长期观测,迁飞高峰期雌虫卵巢解剖、大区环流分析、各地虫情信息收集和利用 Hysplit_4 模型进行轨迹分析,研究了 2007 年越冬代草地螟的空中迁飞行为和东北地区严重暴发的草地螟虫源。结果表明:6 月 7　9 日,雷达观测点诱虫灯内草地螟具有典型迁飞昆虫生理特征;草地螟主要在夜间迁飞,飞行高度集中在 300 ~ 500 m,400 m 是主要飞行高度,迁飞高峰期夜间迁移可持续 9 h。东北地区严重发生的草地螟虫源,一部分来自内蒙古乌盟地区,一部分来自蒙古共和国中东部及中俄边境地区。据此推测我国与国外草地螟存在虫源交流。

关键词:草地螟;迁飞;雷达观测;气流分析;虫源

中图分类号:Q968　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:0454-6296(2008)07-0720-08

The migratory behaviour and population source of the first generation of the meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae) in 2007

ZHANG Yun-Hui[1], CHEN Lin[1], CHENG Deng-Fa[1,*], JIANG Yu-Ying[2], LU Ying[3] (1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. National Agro-Technical Extension and Service Centre, Beijing 100026, China; 3. Plant Protection Station of Wulanchabu City, Jining, Nei Mongol 012000, China)

Abstract: The meadow moth, *Loxostege sticticalis* L., is an important farming migratory pest in North China, and the understanding of the exact overwintering area and migratory path for the pest is essential for establishing a population forecasting system. In this study, we developed a long-term monitoring observation of the pest using a vertical-looking radar (VLR), checked up the ovarian development and collected the number of meadow moths in light trap at different points during the peak migration period of meadow moth. We also analyzed the weather background during the major immigration period, especially, low altitude airflow and large-scale atomspheric circulation. Finally, we did numerical simulation on migration dynamics of meadow moth with Hysplit_4 (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory). The results showed that meadow moths during June 7 – 9 showed a typical physiological characteristic of migrating insects and the moths usually took advantage of strong winds to fly and formed main migrating layers at 300 – 500 m above ground level (agl), mainly at 400 m (agl), and lasted 9 h in one night. Part of the meadow moth population in the northeast of China immigrated from Wumeng, Inner Mongolia, and part from the middle-east part of Mongolia and the border areas of China and Russia. It is so inferred that population intercourse of the meadow moth may exist between China and neighboring countries.

Key words: *Loxostege sticticalis*; migration; radar observation; airflow analysis; population source

---

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2006CB102007);国家自然科学基金项目(30771385);国家科技攻关项目(2005BA529A03);国家科技支撑项目(2006BAD08A01)

作者简介:张云慧,女,1980 年生,博士研究生,研究方向为雷达昆虫学,E-mail: yhzhang@ippcaas.cn

* **通讯作者** Author for conrespondence, E-mail: dfcheng@ippcaas.cn

收稿日期 Received: 2007-12-08; **接受日期** Accepted: 2008-05-19

草地螟 *Loxostege sticticalis* L. 属鳞翅目，螟蛾科，是一种世界性害虫，幼虫具有群集性、突发性、杂食性等特点，主要分布在欧亚大陆和北美洲，在我国主要分布区为华北、东北及新疆的阿勒泰地区。目前，我国对草地螟的发生危害规律还了解甚少，无论是对其种群动态规律还是成灾的环境特征均不清楚，监测和预测预报工作十分困难，在防治上十分被动(罗礼智等，2005)。各地大发生的虫源问题和迁飞路线认识不清，全国草地螟科研协作组(1987)研究认为河北坝上、山西雁北、内蒙古乌盟地区为草地螟的主要越冬地，越冬代成虫羽化后，随着西南气流向东北方向远距离迁飞。陈晓等(2004)通过分析迁入峰期的天气学背景和风场的时空分布，认为 1999 年东北地区大发生的草地螟只有少部分来自以往认为的' 主要发生基地 ”，其主要虫源来自蒙古共和国东部及中蒙边境地区。王秋荣等(2005)通过对呼伦贝尔越冬地的调查发现该地区草地螟越冬基数和成活率都很高，成为草地螟发生的一个潜在越冬区。虫源地的复杂性和迁飞路线的多变性也成为制约草地螟早期监测预警的主要难题。

因此，要准确预测草地螟的迁飞路线，单纯依靠传统的预测预报方法还远远不够，做好草地螟的空中种群动态实时监测具有重要研究意义。昆虫雷达就是一项重要的研究手段，吉林省农业科学院植物保护研究所的陈瑞鹿等(1992)和河南省农业科学院植物保护研究所的封洪强等(2004)先后利用扫描昆虫雷达对草地螟的迁飞行为进行了相关研究，取得了一定的进展。但由于受扫描昆虫雷达操作方法限制，一直没有开展长期的定点观测。我们利用垂直监测昆虫雷达系统及相关辅助设备，于 2007 年 5 月底至 6 月底在内蒙古集宁市对草地螟越冬代成虫迁飞进行了雷达监测。本文利用雷达监测结果，结合低空气流和大区环流分析及各地虫情数据，对草地螟的春季迁飞路线进行了模拟，并对草地螟的虫源问题进行了探讨。

1　材料与方法

1.1　数据来源

1.1.1　地面虫情资料：地面虫情数据来自雷达观测点佳多 PS-15 频振式诱虫灯逐日虫情数据；各地虫情数据采用 2007 年全国草地螟会商会草地螟主要发生区高峰期、高峰日，卵巢发育级别等灯诱资料。

1.1.2　空中虫情数据：空中昆虫种群变化动态采用雷达观测点高空探照灯逐日灯诱数据；夜间空中昆虫飞行行为利用垂直监测昆虫雷达以 2 000 m 距离档长期观测自动记录的资料。

1.1.3　气象数据：地面气象数据每日记录雷达观测点当日天气情况；高空风温场数据由美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction，简称 NCEP，其前身为美国国家气象中心 National Meterological Center，简称 NMC)和美国国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research，简称 NCAR)提供的再分析数据。

1.3　研究方法

雷达观测点设置在内蒙古乌兰察布市植保植检站(41°02′N，113°06′E)，雷达具体参数见张云慧等(2007)。垂直监测昆虫雷达、高空探照灯和地面诱虫灯，每天日落开，日出关(雨天除外)，开关机具体时间参阅翟保平(2004)。高空探照灯主要诱集空中飞行的草地螟，与诱集近地面昆虫的地面灯进行数量对比，用于区别迁飞和当地种群。每天早上把诱虫灯诱集的草地螟，先从形态学上分辨雌雄，计算性比，随机挑选 50 头雌虫做卵巢解剖，记录卵巢发育进度，迁飞高峰期每晚定时取样。利用 NCEP 和 NCAR 提供的高空风场数据，经过 GIS 的再分析，采用标准时 12 时(北京时 20 时)925 hPa(百帕)压力层面 u 分量、v 分量数据合成风场矢量图，分析草地螟迁飞高峰期高空盛行的风场。

利用 Hysplit_4 软件系统，把 GDAS 网格数据(网格大小约为 111 km，数据中包含温度、风向、高度、相对湿度等要素，该数据可以从 http：//www.arl.noaa.gov 网站下载，每日有 8 个时段数据。)导入软件系统，以雷达观测点为中心，111 km 为半径散布若干个点，对迁出事件进行顺推，顺推时间以 20:00 为起始时间。起点高度设置为 400 m，最大高度 2 000 m，超过此高度软件自动停止对该点的分析。同理，对东北地区草地螟暴发地进行逆推分析，逆推时间以 06:00 为起始时间。

1.4　数据处理与统计分析

诱虫灯内的虫情数据和雷达采集数据用非实时程序输出后，采用 SAS 9.13 软件进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　雷达观测结果

雷达观测到昆虫回波高峰期出现在 6 月 7 – 11 日，正值当地越冬代幼虫集中羽化期，6 月 7 日雷达

回波突然增多，11－12 日受对流天气影响，当地普降小雨转阵雨，回波强度相对较少，12 日以后雷达回波强度和持续时间逐渐减少。6 月 8 日雷达回波强度最高，雷达开机后回波点就开始明显增多，400 m 高度回波增加较快，10 min 后回波点主要集中在 400 m。随着回波点的增多，300 m 和 500 m 回波点也开始增多，22∶00 左右达到一个高峰，此种状态一直持续到 00∶00 左右。00∶00－02∶00 回波强度又出现了一次新的高峰，02∶00 回波点开始减少，回波高度主要在 400 m，其它高度回波点很少，400 m 高度回波点直到天亮(05∶00)才基本消失。6 月 8 日探照灯诱虫盆内在 20∶00，22∶00，00∶00，02∶00，05∶00 进行定时取样，诱集盆内草地螟成虫的变化趋势与雷达回波具有很高的一致性(图 1)。判定雷达回波监测到的目标昆虫为草地螟，飞行高度主要集中在 300～500 m，回波强度较高时可以达到 600 m，700～800 m 回波点很少，400 m 是主要的飞行高度，可以在此高度段完成整夜飞行，持续飞行时间可达 9 h。草地螟迁飞主要选择在夜间，白天很少观测到其迁飞现象。

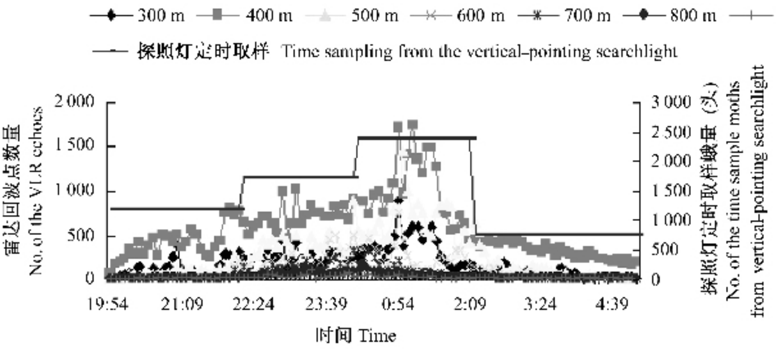

图 1　草地螟迁飞高峰期内雷达回波与探照灯诱虫定时取样结果(2007 年 6 月 8 日)
Fig. 1　The spatio-temporal changes of the VLR echoes and time sampling from the vertical-pointing searchlight through the night during the peak migration period of meadow moth on 8 June 2007

2.2　虫情信息

2007 年 5 月 30 日－6 月 7 日雷达观测点探照灯诱虫盆内先后有 3 次规模较小的草地螟突增，数量从几头到上百头，6 月 7－9 日出现一次规模较大的迁飞过程，6 日探照灯诱虫 163 头，7 日突增到 5 632 头，8－9 日也维持在较高水平，10 日数量开始减少，14 日下降到 156 头(图 2)。高峰期性比都大于 1，6 月 7－8 日性比超过 2 1。高峰期探照灯诱集草地螟数量占总诱虫数量的百分比(诱虫百分比)分布在 40.1～77.2%(图 3)。高峰期间草地螟雌虫卵巢发育级别整齐集中在Ⅰ～Ⅱ级，基本没有交配，连续几天卵巢发育级别没有明显差异(图 4)，具有典型迁飞昆虫生理特征。

2.3　2007 年草地螟各地高峰期消长情况

2007 年 6 月上旬至中旬，草地螟在我国北方地区先后进入盛发期。5 月 25－6 月 3 日内蒙古乌盟地区的四子王旗、察右中旗、察右后旗、商都、化德等地草地螟相继进入盛发期，草场、田间百步惊蛾 3 000～6 000 头，雌蛾卵巢发育级别Ⅰ级率达 90～100%。6 月 7－9 日据内蒙古自治区植保植检站和

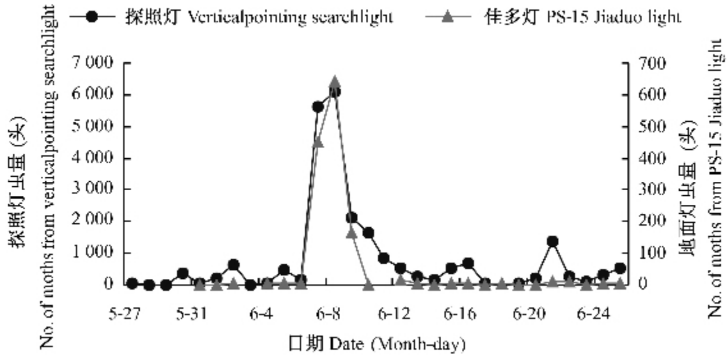

图 2　探照灯和佳多诱虫灯诱集草地螟日变化趋势(集宁，2007)
Fig. 2　Daily density of meadow moth collected by the searchlight trap and Jiaduo light (Jining, 2007)

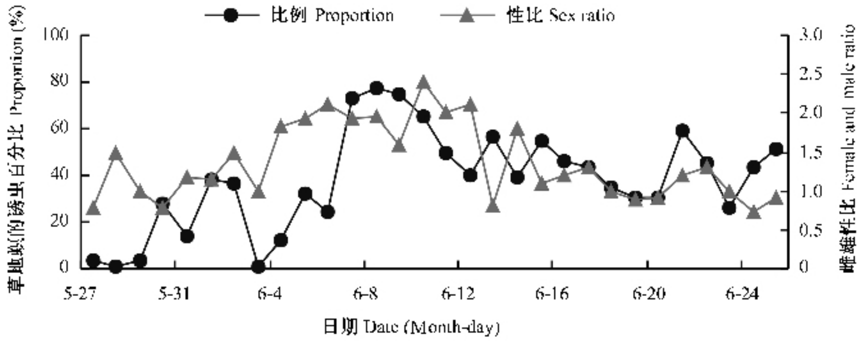

图 3　迁飞高峰期草地螟性比与草地螟占诱虫总量的百分比(集宁,2007)

Fig. 3　Proportion in total collection and sex ratio of meadow moths collected by the searchlight trap during moth occurrence peak period (Jining, 2007)

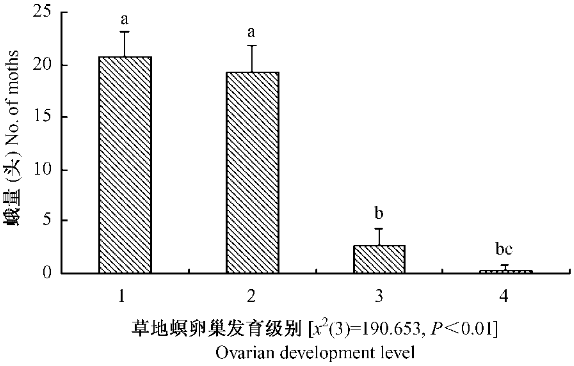

图 4　迁飞高峰期草地螟卵巢发育进度(集宁,2007)

Fig. 4　Ovarian development status of female moths captured from the searchlight trap during the peak migration period of meadow moth (Jining, 2007)

乌兰察布市植保植检站联合调查,在这些地带草地螟越冬代成虫蛾量百步惊蛾仍为 3 000 ~ 5 000 头,卵巢发育级别Ⅰ ~ Ⅱ级率 95%以上,仍然有大批越冬代幼虫羽化迁出。同期河北省康保县、万全县、张家口坝上地区也出现诱虫高峰,田间百步惊蛾 1 000 ~ 3 000 头,卵巢发育Ⅰ ~ Ⅱ级率在 75%以上。辽宁省阜新、朝阳、铁岭市,吉林省洮南、镇赉县,内蒙古的兴安盟等地,6 月 10 日开始有草地螟迁入,卵巢发育以Ⅱ ~ Ⅲ级为主。6 月 12 日黑龙江的大庆、齐齐哈尔及内蒙古呼伦贝尔等地相继进入始盛期,田间百步惊蛾量上千头,最多可达上万头,卵巢发育级别整齐Ⅲ ~ Ⅳ级率为 80%以上(表 1)。6 月 15 日以后在内蒙古的兴安盟、呼伦贝尔、黑龙江中西部的齐齐哈尔、大庆等地田间幼虫严重暴发。

2.4　草地螟迁飞轨迹分析

2.4.1　迁出地分析:5 月底 6 月初,华北及东北地区主要受蒙古气旋和副热带高压的影响,蒙古气旋逐渐减弱,副热带高压相对增强,使华北及东北地区主要盛行偏南或西南气流。雷达观测点草地螟高峰期为 6 月 7 – 9 日,6 月 6 日探照灯下诱虫数量为 163 头,7 日突增到 5 632 头,8 日 6 103 头,9 日数量下降到 2 109 头,此后几天数量逐日递减。6 月 7 日的空中风场分析显示华北及东北地区受多个气旋与反气旋控制,风场变化较大。轨迹分析 7 日起飞的草地螟由于没有合适气流运载,主要进行近距离迁飞

表 1　2007 年我国北方部分地区草地螟蛾峰情况

Table 1　Migration peaks of the meadow moth adult in North China in 2007

站点 Location	高峰期(月·日) Peak stage (Month·day)	高峰日(月·日) Peak day (Month·day)	高峰日灯诱蛾量 Number of meadow moth in light trap	卵巢发育级别 Ovary grade
四子王旗 Siziwang Qi	6.5 – 6.9	6.8	1 453	Ⅰ – Ⅱ(95%)
集宁 Jining	6.6 – 6.10	6.8	594	Ⅰ – Ⅱ(85%)
康保 Kangbao	6.6 – 6.10	6.8	3 066	Ⅰ – Ⅱ(75%)
朝阳 Chaoyang	6.8 – 6.12	6.10	89	Ⅱ – Ⅲ(100%)
乌兰浩特 Wulanhaote	6.9 – 6.13	6.11	66 660	Ⅲ
兴安盟 Xing'an Meng	6.9 – 6.13	6.11	21 000	Ⅱ – Ⅲ
镇赉 Zhenlai	6.8 – 6.13	6.11	516	Ⅱ – Ⅲ
阜新 Fuxin	6.8 – 6.13	6.11	1 200	> Ⅲ(80%)
齐齐哈尔 Qiqihar	6.8 – 6.15	6.12	1 342	> Ⅲ
大庆 Daqing	6.8 – 6.18	6.12	914	> Ⅲ

扩散。6 月 9 日 00:00 时空中风场分析，受副热带高压影响华北北部和东北大部主要为偏南和西南气流，同时在蒙古共和国的中西部形成的蒙古气旋逐渐增强并向我国东北方向移动（图 5）。轨迹分析显示，6 月 8 日晚草地螟从内蒙古中部乌盟等地迁出，向蒙古共和国方向迁飞，在中蒙边界地区受气流影响转向我国东北方向，6 月 10 日大部分迁飞到中蒙边界地区，少量到达内蒙古的呼伦贝尔地区（图 6）。6 月 9 日东北、华北地区盛行典型的西南气流（图 7），9 日晚从内蒙古乌盟等地起飞的蛾群顺西南气流，经河北省北部，内蒙古赤峰、通辽等地 11 日到达吉林省西北部、内蒙古兴安盟、呼伦贝尔的部分地区（图 8）。

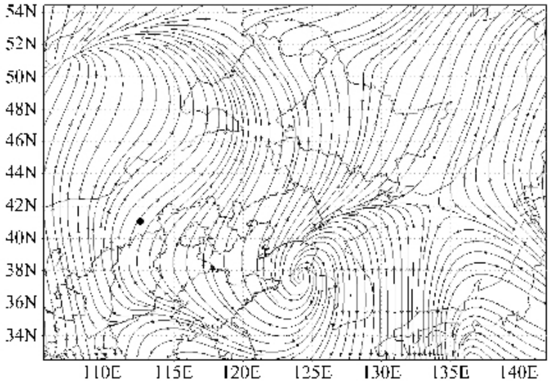

图 5　2007 年 6 月 9 日 0:00 时 925 hPa 风场

Fig. 5　Wind field on 925 hPa at 0:00 on 9 June 2007

图中黑点为雷达观测点。The black dot on the map indicates the radar station in Jining.

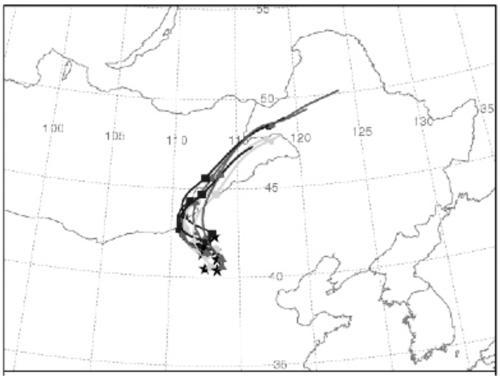

图 6　2007 年 6 月 8 日 20:00 草地螟迁出种群 400 m 高空 2 d 顺推轨迹

Fig. 6　2 d forward trajectory of meadow moth leaving Jining at 20:00 on 8 June 2007 (at 400 m)

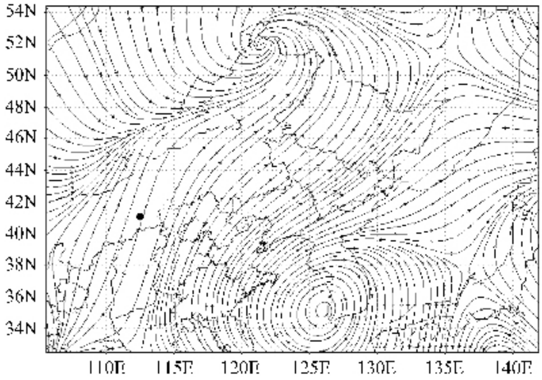

图 7　2007 年 6 月 10 日 0:00 时 925 hPa 风场

Fig. 7　Wind field on 925 hPa at 0:00 on 10 June 2007

图中黑点为雷达观测点。The black dot on the map indicates the radar station in Jining.

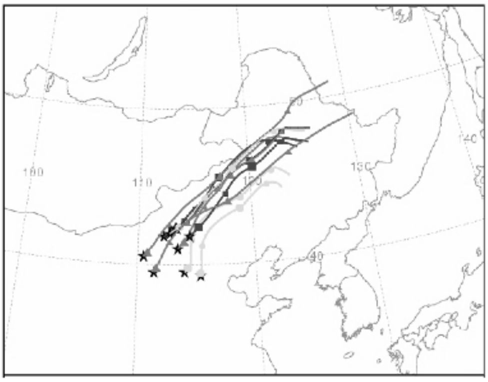

图 8　2007 年 6 月 9 日 20:00 草地螟迁出种群 400 m 高空 2 d 顺推轨迹

Fig. 8　2 d forward trajectory of meadow moth leaving Jining at 20:00 on 9 June 2007 (at 400 m)

2.4.2　迁入地分析：6 月 11 日蒙古气旋减弱并继续东移，受在蒙古共和国中部形成的反气旋影响，东北地区主要盛行西北气流（图 9）。6 月 11 日辽宁省朝阳、阜新，吉林省白城、松原，内蒙古兴安盟、赤峰等地出现草地螟迁入高峰。6 月 11 日对这些地区的逆推分析显示，内蒙古的兴安盟、赤峰与吉林省的白城等地虫源主要来自内蒙古的乌盟和河北北部等地（图 10）。6 月 12 日以后，内蒙古的呼伦贝尔、黑龙江的齐齐哈尔、大庆等地相继出现草地螟的大规模迁入。空中风场显示，反气旋中心移到了我国东北地区，受其影响东北大部分地区盛行东北气流（图 11）。12 日对内蒙古呼伦贝尔，黑龙江齐齐哈尔、大庆等地迁入的草地螟逆推分析显示，虫源主要来自中蒙与中俄边界等地（图 12）。

通过上述结果推测，2007 年东北地区严重暴发的草地螟虫源，一部分来自草地螟的主要越冬地内蒙古乌盟等地，一部分来自于蒙古共和国中东部（包括 6 月 6－10 日由我国迁入蒙古共和国的越冬代虫源）和中俄边境地区。

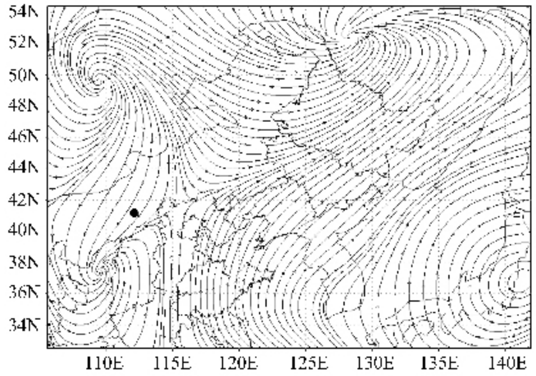

图 9　2007 年 6 月 11 日 0:00 时 925 hPa 风场

Fig. 9　Wind field on 925 hPa at 0:00 on 11 June 2007

图中黑点为雷达观测点。The black dot on the map indicates the radar station in Jining.

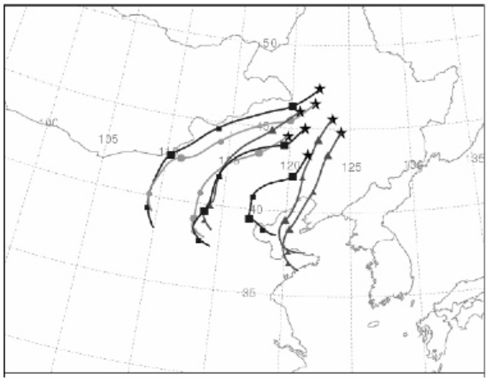

图 10　2007 年 6 月 11 日 06:00 草地螟迁入种群 400 m 高空 2 d 逆推轨迹

Fig. 10　2 d Backward trajectory of meadow moth flying over moth outbreak field at 06:00 on 11 June 2007 (at 400 m)

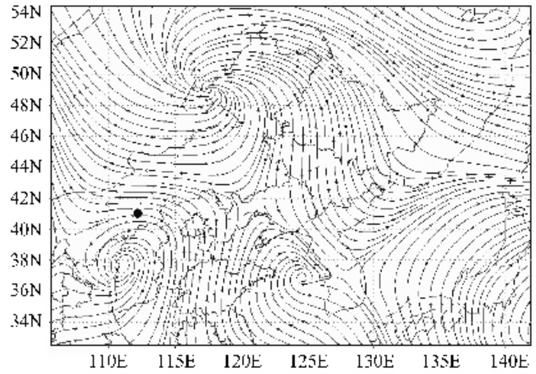

图 11　2007 年 6 月 12 日 0:00 时 925 hPa 风场

Fig. 11　Wind field on 925 hPa at 0:00 on 12 June 2007

图中黑点为雷达观测点。The black dot on the map indicates the radar station in Jining.

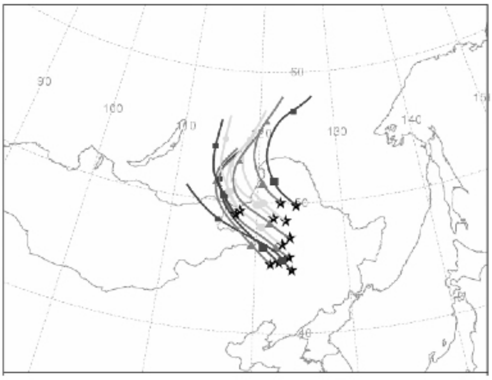

图 12　2007 年 6 月 12 日 06:00 草地螟迁入种群 400 m 高空 1 d 逆推轨迹

Fig. 12　1 d Backward trajectory of meadow moth flying over moth outbreak field at 06:00 on 12 June 2007 (at 400 m)

3　讨论

通过高空探照灯的诱集和探照灯下定时取样与雷达回波具有一致性分析确定，6 月 7 – 9 日雷达回波为草地螟迁飞所引起。草地螟高峰期雌雄性比、卵巢解剖证实高峰期内草地螟具有典型的迁飞昆虫生理特征。本次雷达观测草地螟迁飞高度主要在 300 ~ 500 m，400 m 是其主要的飞行高度。吉林省农业科学院植物保护研究所陈瑞鹿等(1992)报道 1984 年 6 月利用扫描昆虫雷达在山西应县海拔 1 650 m 处观测草地螟迁飞的高度在 400 m 以下，多在 80 ~ 240 m 之间。因该雷达盲区为 250 m，对于 250 m 以下草地螟的成层和迁飞情况没有研究。另外，山西应县海拔较高，不同海拔对草地螟飞行高度也存在一定影响。雷达长期的观测结果显示昆虫的空中飞行行为在不同的气候背景下有着不同的反应，不同季节、夜间不同时间及不同海拔迁飞高度也具有明显差异(Drake *et al*., 2002)。因此，本观测结果和陈瑞鹿先生的观测结果并不矛盾。河南省农业科学院植物保护研究所封洪强等通过雷达观测和低空风温场分析发现草地螟春季迁飞成层与最大风速和最佳风向有关，迁飞高度随空中风场变化(Feng *et al*., 2004)。本次雷达观测也显示草地螟迁飞基本选择在风速较大的高度借助气流运载完成远距离迁飞。昆虫的迁飞高度在昆虫轨迹模拟方面具有重要意义，雷达的长期观测为弄清昆虫季节性迁飞高度提供了直接依据(吴孔明等，2006)，长期的观测数据结合大区气流和轨迹分析能更准确、有效地对迁飞性昆虫进行早期预警(Cheng *et al*., 2002；程登发等，2005)。根据雷达的观测结果结合迁飞高度的气流场进行轨迹分析也更具有事实依据(Feng *et al*.,

2007；张云慧等，2007）。

轨迹分析是研究昆虫迁飞的重要手段，国内通过轨迹分析方法已对我国农业上重大迁飞性害虫，在大发生年的迁飞虫源和迁飞路线进行了模拟。例如，封传红等（2002）分析了我国北方稻区 1991 年稻飞虱大发生虫源的形成，陈晓等（2004）分析了 1999 年东北地区草地螟发生的虫源，周立阳等（1995）分析了江淮稻区稻纵卷叶螟的虫源地及迁飞路径。本次试验，根据雷达观测草地螟夜间迁飞高度，以草地螟的主要迁飞高度 400 m 作为起始高度对迁出地进行顺推，对迁入地进行逆推，并通过大区气流分析空中风场进行验证，结果更具有说服力。由于空中风场不断变化，而风场图只是某一时刻空中风场的反映，因此，轨迹分析结果与空中风场会存在着一定的差异。另外，全国农技推广服务中心 2006 年秋季和 2007 年春季组织的草地螟越冬调查发现，内蒙古乌盟等地草地螟越冬虫源占全国越冬总面积的 92.47%，其中四子王旗是集中越冬区。6 月 7－9 日内蒙古乌盟、河北康保等地，相继出现大的蛾峰，但后期田间调查该地区没有发现幼虫危害，证明越冬代幼虫羽化后大量迁出。6 月 20 日以后内蒙古的兴安盟、呼伦贝尔，黑龙江的齐齐哈尔、大庆等地田间幼虫大暴发，根据草地螟发育历期推断应为同一批虫源。本次轨迹分析结果与各地虫情信息基本相符。

草地螟的虫源问题一直是预测预报和防治的难点。虫源问题也一直存在着争议（全国草地螟科研协作组，1987；陈晓等，2004）。从已查到的越冬虫茧的情况看，每年草地螟越冬场所是不同的，其发生主要随气候与寄主变化，存在着大范围水平方向（向东南西北方向发生与发展）与垂直方向（高山与平川）的变迁（屈西峰和邵振润，1999；屈西峰等，1999）。另外与我国接壤的俄罗斯、蒙古等国均有分布，因而我国与境外的草地螟存在着交流的可能性，但我国主要发生危害区是否有外来虫源至今尚未明确（孙雅杰等，2004）。本次试验轨迹分析结果表明，东北地区严重暴发的草地螟虫源，除 6 月 12 日主要来自中蒙及中俄边境地区外，其它虫源主要来自草地螟的主要越冬地内蒙古乌盟等地。轨迹分析进一步显示我国与周边国家草地螟存在虫源交流。

致谢　河南农业大学植物保护学院 04 级本科实习生赵琦、王大儒、张振在试验中做了部分工作，特此感谢。

参考文献（References）

Cao WJ，Luo LZ，Xu JX，2006. The migratory behavior and pathways of meadow moth，*Loxostege sticticalis* in China. *Entomological Knowledge*，43(3)：279－283.［曹卫菊，罗礼智，徐建祥，2006. 我国草地螟的迁飞规律及途径. 昆虫知识，43(3)：279－283］

Chen RL，Bao XZ，Wang SY，Sun YJ，Li LQ，Liu JR，1992. An observation on the migration of meadow moth by radar. *Acta Phytophylacica Sinica*，19(2)：171－174.［陈瑞鹿，暴祥致，王素云，孙雅杰，李立群，刘继荣，1992. 草地螟迁飞活动的雷达观测. 植物保护学报，19(2)：171－174］

Chen X，Chen JG，Xue Y，Hao LP，Zhang Y，Zhao KJ，2004. Immigration of the 1999 outbreak populations of the meadow moth，*Loxostege sticticalis* L.（Lepidoptera：Pyralidae）into the northeastern part of China. *Acta Entomologica Sinica*，47 (5)：599－606.［陈晓，陈继光，薛玉，郝丽萍，张友，赵奎军，2004. 东北地区草地螟 1999 年大发生的虫源分析. 昆虫学报，47 (5)：599－606］

Cheng DF，Feng HQ，Wu KM，2005. Scanning Entomological Radar and Radar Observation for Insect Migration. Science Press，Beijing. 12－15.［程登发，封洪强，吴孔明，2005. 扫描昆虫雷达与昆虫迁飞监测. 北京：科学出版社. 12－15］

Cheng DF，Wu KM，Tian Z，Shen ZR，Wen LP，2002. Acquisition and analysis of migration data from the digitized display of a scanning entomological radar. *Computers and Electronics in Agriculture*，35：63－75.

Drake VA，2002. Automatically operating radar for monitoring insect pest migrations. *Entomologia Sinica*，9(4)：27－39.

Feng CH，Zhai BP，Zhang XX，Tang JY，2002. Immigration of the 1991 outbreak population of rice planthopper（*Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*）into Northern China. *Acta Ecologica Sinica*，22 (8)：1 302－1 314.［封传红，翟保平，张孝羲，汤金仪，2002. 我国北方稻区 1991 年稻飞虱大发生虫源形成. 生态学报，22(8)：1 302－1 314］

Feng HQ，Wu KM，Cheng DF，Guo YY，2004. Spring migration and summer dispersal of *Loxostege sticticalis*（Lepidoptera：Pyralidae）and other insects observed with radar in northern China. *Environmental Entomology*，33：1 253－1 265.

Feng HQ，Zhang YH，Wu KM，Cheng DF，Guo YY，2007. Nocturnal windborne migration of ground beetles，particularly *Pseudoophonus griseus*（Coleoptera：Carabidae）in China. *Agricultural and Forest Entomology*，9：103－113.

Luo LZ，Qu XF，2005. Harmful character of meadow moth in 2004 and analysis on the damage of the first generation harm to crops in 2005. *Plant Protection*，31 (3)：69－71.［罗礼智，屈西锋，2005. 我国草地螟 2004 年危害特点及 2005 年一代危害趋势分析. 植物保护，31(3)：69－71］

National Cooperated Research Group of Meadow Moth，1987. Studies on the occurrence，forecast and control of meadow moth. *Pest Forecasting*，Supplement no. 1：1－9.［全国草地螟科研协作组，1987. 草地螟发生及测报和防治的研究. 病虫测报，增刊第 1 号：1－9］

Qu XF，Shao ZR，1999. Primary analysis on live through the winter population of meadow moth in lately years. *Plant Protection Technology*

and Extension，19 (6)：5 – 7. [屈西峰,邵振润，1999. 对我国北方近几年草地螟越冬虫源的初步分析. 植保技术与推广，19 (6)：5 – 7]

Qu XF，Shao ZR，Wang JQ，1999. Analysis of periodic outbreak of meadow moth in agricultural and pastoral area of north China. *Entomological Knowledge*，36 (1)：11 – 14. [屈西锋，邵振润，王建强，1999. 我国北方农牧区草地螟暴发周期特点及原因剖析. 昆虫知识，36 (1)：11 – 14]

Sun YJ，Gao YB，2004. Discussion on migration and population of meadow moth in spring. In：Li DM ed. Current Entomological Research. China Agricultural Scientech Press，Beijing. 230 – 232. [孙雅杰,高月波，2004. 草地螟的迁飞与春季发生种群虫源的探讨. 见：李典谟主编. 当代昆虫学研究.北京：中国农业科学技术出版社. 230 – 232]

Wang QR，Zhang Y，Chen X，2005. Investigation of the over wintering area of meadow moth in Hulunbeier city. *China Plant Protection*，25(6)：34 – 36. [王秋荣，张友，陈晓，2005. 呼伦贝尔市草地螟越冬情况调查. 中国植保导刊，25(6)：34 – 36]

Wu KM，Zhai BP，Feng HQ，Cheng DF，Guo YY，2006. Radar observations on the migratory behavior of the second generation cotton bollworm moths in the north part of northern China. *Acta Phytophylacica Sinica*，33(2)：163 – 167. [吴孔明,翟保平,封洪强,程登发,郭予元,2006. 华北北部地区二代棉铃虫成虫迁飞行为的雷达观测. 植物保护学报，33(2)：163 – 167]

Zhai BP，2004. Computing the day length for programming insect behavior. *Entomological Knowledge*，41(2)：178 – 184. [翟保平，2004. 昆虫行为研究中日长的计算. 昆虫知识，41(2)：178 – 184]

Zhang YH，Chen L，Cheng DF，Zhang YJ，Jiang YY，Jiang JW，2007. Radar observation and population analysis on the migration of the clover cutworm，*Scotogramma trifolii* Rottemberg (Lepidoptera：Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*，50(5)：494 – 500. [张云慧,陈林,程登发,张跃进,姜玉英,蒋金炜，2007. 旋幽夜蛾迁飞的雷达观测和虫源分析. 昆虫学报，50(5)：494 – 500]

Zhang YH，Qiao HB，Cheng DF，Sun JR，2007. Primary application of vertical-looking radar to tracking high-flying insects in China. *Plant Protection*，33(3)：23 – 26. [张云慧,乔红波,程登发,孙京瑞，2007. 垂直监测昆虫雷达空中昆虫监测的初步应用. 植物保护，33(3)：23 – 26]

Zhou LY，Zhang XX，Cheng JY，1995. Trajectory analysis on *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée for Huaihe and Yangtze river areas. *Journal of Nanjing Agricultural University*，18(2)：53 – 58. [周立阳，张孝羲,程极益,1995. 江淮稻区稻纵卷叶螟的轨迹分析. 南京农业大学学报，18(2)：53 – 58]

（责任编辑：袁德成）